

voor de mens is het waarnemen van visuele stimuli in zijn omgeving de belangrijkste manier om zich te oriënteren. maar geldt dit ook voor dieren? onderzoek bij verschillende diersoorten toont aan dat de biologische mechanismen achter hun feilloze navigatie heel wat diverser zijn. dieren zijn in staat een combinatie van verschillende meetsystemen in te zetten naargelang van de omstandigheden waarin ze zich voortbewegen.

Biologisch kompas slimmer dan gps

Lutgarde Arckens en Jeroen Aerts

Elke dag je weg vinden naar je werkplek doe je als het ware met je ogen toe. Toch is het zicht het eerste zintuig waar we aan denken als we ons afvragen hoe we ons naar een bestemming begeven. Egocentrisch als we zijn, gaan we ervan uit dat navigeren voor mens én dier berust op het zien van stimuli in onze omgeving. Onderzoek bij een hele reeks diersoorten maakt echter duidelijk dat de biologische mechanismen achter hun opmerkelijk feilloze navigatie veel diverser zijn dan alleen visuele mechanismen. Verschil in lichtintensiteit tussen dag en nacht, of de stand van sterren, zon en maan zijn uiteraard een gids voor vele soorten. Maar daarnaast zijn er ook tal van andere stimuli met een uitgesproken rol in navigatie, die we alleen kennen door ingenieus onderzoek bij zeer uitlopende diersoorten, gaande van algen tot blauwe vinvissen, van duiven tot bijen. Dieren beschikken over een diverse set van meetsystemen, die hen toelaat een verschillende combinatie in te zetten naargelang van de omstandigheden op het moment van de voortbeweging.

Zoöplankton, het voedsel van zowat elke vis in onze wereldzeeën, migreert overdag neerwaarts en 's nacht opwaarts. De reden is eenvoudig. Zoöplankton voedt zich met fytoplankton, fotosynthetiserende bacteriën en algen aan het wateroppervlak. Zelf is het overdag voer voor diurnale vissen, dit zijn vissen met een dag- en nachtritme. Voor zoöplankton is het zich 's nachts voeden met fytoplankton dus een echte overlevingsstrategie. Lang werd gedacht dat

zoöplankton dit doet op basis van een aversie afwisselend voor licht en zwaartekracht tijdens totale duisternis. Uit experimenteel onderzoek blijkt echter dat zoöplankton in een donker aquarium dezelfde op- en neerwaartse beweging blijft maken en dat de dalende beweging in de oceaan zich inzet kort voor het licht werkelijk opkomt. Zoöplankton blijkt over een interne klok te beschikken, waardoor het zich in een permanent donkere omgeving slechts traag aanpast aan het schijnbaar in de tijd verschuiven van valavond. Net als de mens kan zoöplankton op die manier een jetlag ervaren.

Navigatie hangt af van zowel externe als interne factoren. Een voorbeeld van een interne factor is de ontdekking in 2006 dat mieren beschikken over een interne stappenteller om de weg naar hun nest terug te vinden. In een experiment werd aan woestijnmieren geleerd om op een vaste afstand een recht pad te bewandelen naar hun nest. Om te bewijzen dat mieren hun stappen tellen, onderwierpen de wetenschappers hen aan een opmerkelijk staaltje van cosmetische chirurgie. Bij sommige mieren werden de poten langer gemaakt door tandenstokers vast te lijmen aan de uiteinden en bij andere mieren werden de poten afgeknipt om ze korter te maken. De mieren met de vastgelijmde stelten wandelden prompt voorbij hun nest, terwijl de mieren met kortere poten al ver voor hun doel stopten. Na enige tijd leerden de gemodificeerde mieren echter wel de locatie van hun nest. Dit doet vermoeden dat ze bij het stappen tellen rekening leren houden met de lengte van hun poten. Dit mechanisme wordt gecombineerd met de lichtinval: de mieren gebruiken de lichtinval om hun richting te bepalen, en tellen dan stappen om de afstand tot het doel te bepalen. Tellen is eigenlijk niets anders dan een simpele en tijdsafhankelijke strategie voor het plotten van afstand. In complete duisternis kan de mens dit uiteraard ook gebruiken, maar als mechanisme is het ook geobserveerd bij muizen en krabben.

Echolocatie is het vermogen van een dier om objecten te lokaliseren door zelf geluid uit te zenden en te luisteren naar de echo ervan

Een meer algemene term voor het bewegen naar een stimulus is 'taxis'. Een voorbeeld is de chemotaxis, waarbij een dier gaat bewegen naar een chemische component, of in functie van een stijgende of dalende concentratie chemicaliën. Dit kan door op geregelde tijdstippen een geur op te meten. Een mannelijke mot probeert bijvoorbeeld een vrouwelijke mot te lokaliseren door feromonen waar te nemen. Vaak wordt bij oriëntatie ook een simultane vergelijkingsstrategie toegepast. Wanneer diezelfde mot een vleermuis wil ontlopen, maakt hij gebruik van twee gehoorsorgaantjes die de sonarklikgeluiden van de op insecten jagende vleermuis met een minuscuul tijdsverschil zullen horen, op basis van een minimaal afstandsverschil ten opzichte van de vleermuis (de geluidsbron). Het simultaan verwerken van deze dubbele gehoorsinformatie bepaalt de uiteindelijke ontsnappingsroute van de mot. Net zoals de vleermuis gebruiken ook walvissen sonar of echolocatie om te navigeren. Echolocatie is het vermogen van een dier om objecten te lokaliseren door zelf geluid uit te zenden en te luisteren naar de echo ervan. Dolfijnen en andere walvissen zijn op die manier in staat om objecten van minder dan een halve centimeter groot van elkaar te onderscheiden op een afstand van 15 meter.

Naast de positie van de zon en hun circadiaanse klok maken de monarchvlinders vermoedelijk ook gebruik van het magnetische veld van de aarde

Een eenvoudig mechanisme van taxis, hoe aantrekkelijk ook,

kan echter het oriënteringsgedrag van dieren nog niet helemaal verklaren. Meer en meer wordt duidelijk dat dieren gesofisticeerde manieren van informatieverwerking gebruiken om te manoeuvreren in hun wereld. De epische migraties van monarchvlinders zijn hier een schoolvoorbeeld van. Deze vlinders reizen elk jaar van Noord-Amerika naar Mexico om daar te overwinteren. Dit gebeurt over drie tot vier generaties heen, omdat een vlinder niet lang genoeg leeft om de tocht in één generatie te voltooien. Om te navigeren gebruiken de vlinders een combinatie van een interne klok, oriëntatie tegenover de zon en het magnetisch veld van de aarde. Hoe de opeenvolgende generaties weten hoe ze de weg terug moeten vinden, blijft een raadsel. Onderzoek wijst er echter op dat het vluchtpatroon met informatie over de positie van de zon kan worden overgeërfd via genen die instaan voor het dag- en nachtritme (of het circadiaanse ritme). Deze zogenaamde klokgenen worden af- en aangezet naargelang van de stand van de zon om zo de dagcyclus bij te houden. Naast de positie van de zon en de circadiaanse klok maken de vlinders vermoedelijk ook gebruik van het magnetische veld van de aarde.

Een voorbeeld van dieren die slechts één mechanisme gebruiken om te navigeren vinden we ook bij jonge zeeschildpadden. Zeeschildpadden leggen hun eieren op stranden, en als die eieren 's nachts uitkomen, moeten de pasgeboren dieren hun weg vinden van het strand naar de oceaan: dit doen ze uitsluitend op basis van de reflectie van maanlicht op het wateroppervlak aan de horizon. In dit opzicht is de toenemende lichtvervuiling van menselijke oorsprong aan de kuststreken desastreus, aangezien dit de oriëntatiecapaciteit van de zeeschildpadden op het meest cruciale moment kan verstoren. Decennia later, wanneer de zeeschildpadden volwassen zijn, keren ze terug naar hetzelfde strand om zelf eieren te leggen. Experimenten in een groot bassin omgeven door spoelen die een magnetisch veld opwekken, tonen aan dat de zeeschildpadden deze

migratie ook in complete duisternis kunnen uitvoeren, en dat ze op dit moment uitsluitend gebruik maken van het magnetische veld van de aarde om zich te oriënteren. Zowel de monarchvlinders als de zeeschildpadden bezitten immers kleine magnetische partikels in hun hersenen die bestaan uit het mineraal magnetiet, dat zorgt voor het waarnemen van magnetische velden. Ook duiven en andere vogels hebben kleine ijzerpartikels op hun bek, die zoals een echt kompas altijd naar het noorden wijzen. Verschillende experimenten tonen aan dat mensen en andere primaten niet in staat zijn om zich te oriënteren op basis van magnetisme. Daarvoor moeten wij als mens de technologie inzetten.

[Ook duiven hebben kleine ijzerpartikels op hun bek, die zoals een echt kompas altijd naar het noorden wijzen](#)

De uitdagingen waar insecten, vogels, walvissen of de mens voor staan bij navigatie zijn groot en vergen vaak verschillende gesofisticeerde systemen. Natuurlijke selectie heeft gezorgd voor een waaier aan navigatiesystemen. Vele dieren hebben vaak elegantere en gemakkelijkere oplossingen gevonden dan de mens. Toch vormt de impact van de mens op de natuur een serieuze bedreiging voor de manier waarop verschillende organismen migreren en navigeren. Door continu onderzoek naar de werking van dierlijke navigatiesystemen kan de mens proberen het tij te keren. Zo is bijvoorbeeld de globale populatie van trompetkraanvogels langzaam aan het herstellen, doordat onderzoekers jonge vogels laten opgroeien en via een ultralicht vliegtuig naar een nieuwe plaats leiden om te overwinteren. De wilde populatie kraanvogels migreert jaarlijks van West-Canada naar Texas, maar door het verdwijnen van hun habitat bleven er van de 10 000 vogels in 1940 slechts 21 over in 2000. Een gezamenlijke inzet van non-profitorganisaties en van de Amerikaanse overheid heeft

als doel om de kraanvogels een nieuwe migratieroute aan te leren naar New Mexico, via een begeleide vlucht met een ultralicht vliegtuig. Onderweg onthouden de vogels de nieuwe route en leren ze diezelfde route aan hun nageslacht. In 2006 waren er al meer dan 60 getrainde vogels die de nieuwe migratieroute met succes in stand hielden, waardoor de populatie nu traag maar zeker herstelt.

De impact van de mens op de natuur vormt een serieuze bedreiging voor de manier waarop verschillende organismen migreren en navigeren

Het is duidelijk dat biodiversiteit ook voor onderzoek rond navigatie een schat aan informatie bevat. Alleen door vele soorten te bestuderen en te vergelijken kunnen we nieuwe concepten in kaart brengen, die ingenieurs dan kunnen motiveren voor onderzoek naar een nieuw modern kompas of gps. In de robotica wordt inspiratie gehaald uit onder meer de navigatie van vogels en mieren om autonome navigatie, gebaseerd op visuele en chemische stimuli, mogelijk te maken. Zo kunnen ze uiteindelijk robots in staat stellen complexe omgevingen in kaart te brengen en bijvoorbeeld volledig autonoom en doelgericht een reddingsoperatie uit te voeren.

De neurowetenschapper Edvard Moser en zijn collega's ontdekten in 2005 dat in de hersenen van ratten, en ook van de mens, 'plaatscellen' aanwezig zijn, waarvan de activiteit wordt bepaald door verschillende herkenningpunten uit de omgeving. Als we bijvoorbeeld onze auto willen terugvinden op een parkeerplaats, zijn die cellen actief op een gelijkaardig rasterpatroon, net alsof de parkeerruimte anatomisch wordt geprojecteerd in ons brein. Bijen, andere insecten en vogels (zoals ook de trompetkraanvogel) zijn net zoals de mens in staat om dergelijke mentale kaarten aan te

maken. Dit begint meestal met de aanmaak van een zogenaamde sequentiekaart, die bestaat uit opeenvolgende ‘snapshots’ van de omgeving zonder dat het dier zich bewust is van eventuele kortere wegen of naastliggende oriëntatiepunten. Alleen door ervaring op te doen wordt de sequentiekaart aangevuld met informatie om een volledige, waarheidsgetrouwe mentale kaart te bekomen. Na bijvoorbeeld een hersenbloeding of bij de ziekte van Alzheimer kunnen patiënten een dergelijke mentale kaart soms niet meer aanmaken, en in dat geval spreekt men van topographagnosia. Tot op heden is er slechts één geval bekend waarbij deze aandoening het resultaat is van een ontwikkelingsstoornis. Hierbij ging het om een patiënt die vanaf haar geboorte niet in staat was om te navigeren in nieuwe omgevingen, en die alleen haar weg kon vinden door een sequentie van herkenningpunten te volgen, zelfs in haar eigen huis. Uit onderzoek van haar hersenen bleek dat ze een afwijking had in de hippocampus, een hersenregio die essentieel blijkt om cognitieve kaarten van de omgeving te vormen.

Dit sluit overigens mooi aan bij klassiek onderzoek dat werd uitgevoerd op Londense taxichauffeurs, waaruit bleek dat hoe meer ervaring de taxichauffeurs hadden, hoe groter hun hippocampus is. Het is al langer geweten dat het volume van de hippocampus gecorreleerd is met de mate waarin ruimtelijke navigatie gebruikt wordt. Om aan te tonen dat deze volumevergroting bij de Londense taxichauffeurs daadwerkelijk te maken had met hun superieur ruimtelijk oriëntatievermogen en niet het resultaat was van de motorische handelingen of stress tijdens het rijden, werden ook MRI-scans genomen van de hersenen van buschauffeurs. Die hanteren immers een vergelijkbare motoriek en zijn onderhevig aan gelijkaardige vormen van stress. Alleen bij de taxichauffeurs werd een vergroting van het hippocampale volume vastgesteld.

Begrijpen hoe het brein van mens en dier informatie puurt uit een reeks van stimuli over waar we ons begeven en hoe we een nieuwe bestemming dichtbij of veraf kunnen bereiken, wordt pas mogelijk door zoveel mogelijk soorten te onderzoeken. Alleen zo kunnen we nieuwe therapieën aan het licht brengen of innovatieve apparatuur ontwikkelen voor patiënten met navigatiestoornissen.

James L. Gould en Carol Grant Gould, *Nature's Compass. The Mystery of Animal Navigation*. (Princeton: Princeton University Press, 2012).